昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*，June 2008，51（6）：635 – 639　　ISSN 0454-6296

中红侧沟茧蜂滞育临界光周期和敏感光照虫态的测定

李文香[1,2]，李建成[1,*]，路子云[1]，刘小侠[2]，张青文[2,*]

（1. 河北省农林科学院植物保护研究所，河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心，河北保定　071000；
2. 中国农业大学农学与生物技术学院昆虫学系，北京　100094）

摘要：室内对中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* 滞育诱导的光周期反应及敏感光照虫态进行了研究。结果表明：在 16℃和 18℃温度下，当光周期为 10L∶14D 时，中红侧沟茧蜂的滞育率最高为 98% 和 87.8%；其次是光周期为 8L∶16D 时，滞育率为 78.7%和 73%；光周期为 12L∶12D 时，滞育率为 55.8% 和 50.8%；而在全光照 LL，光周期 22L∶2D，20L∶4D，18L∶6D，16L∶8D，14L∶10D，2L∶22D 和全黑暗 DD 时的滞育率均为 0。中红侧沟茧蜂属于典型的长日照发育型，在 16℃时诱导滞育的临界光周期是 7.03L∶16.97D 和 12.21L∶11.79 D；在 18℃时是 6.75L∶17.25D 和 12.03L∶11.97D。16℃时中红侧沟茧蜂对光照反应最敏感时期为 2 龄幼虫第 5～8 天，2 龄幼虫第 1～4，9～12 和 13～16 天及 3 龄期次之，卵期和 1 龄幼虫不敏感。

关键词：中红侧沟茧蜂；滞育；光周期；敏感虫期；长日照发育型

中图分类号：Q968　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0454-6296（2008）06-0635-05

Critical photoperiod and sensitive stage of diapause induction in *Microplitis mediator* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae)

LI Wen-Xiang[1,2], LI Jian-Cheng[1,*], LU Zi-Yun[1], LIU Xiao-Xia[2], ZHANG Qing-Wen[2,*] (1. IPM Centre of Hebei Province, Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Baoding, Hebei 071000, China; 2. Department of Entomology, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Photoperiod response of diapause induction and the sensitive stage to photoperiod was investigated in the solitary endoparasitoid *Microplitis mediator* (Haliday) under 16℃ and 18℃ in the laboratory. The photoperiodic response curves in *M. mediator* showed that this endoparasitoid is a typical long-day species with a critical day length of 12.21 h at 16℃ and 12.03 h at 18℃. The short day length of 10 h resulted in the highest rate of diapause (98.0% at 16℃ and 87.7% at 18℃). The percentage of diapause was 0 when light length ≥14 h or ≤2 h. The sensitive stage to short light of 10 h at 16℃ was the 2nd instar (Day 5 – 8), while the 2nd instar (Day 1 – 4, Day 9 – 12, and Day 13 – 16) and the 3rd instar were the less sensitive stages, and the egg stage and the 1st instar were the insensitive stages to short light.

Key words: *Microplitis mediator*; diapause; photoperiod response; sensitive stage; long-day species

滞育是昆虫系统发育中一种内在的比较稳定的遗传特性。许多昆虫通过滞育来度过不良环境，维持种群和个体的生存。诱导昆虫发生滞育的因素主要有光周期、温度和食料等（薛芳森等，2003），其中光周期是大多数昆虫进入滞育的主要刺激因子。许多重要农林害虫的滞育是由光周期控制的，光周期在昆虫中的研究发展迅速。最早报道光周期控制昆虫滞育的是 Kogure（1933）和 Sabrosky 等（1933）。Kogure（1933）报道了光周期控制家蚕 *Bombyx mori* 的滞育，其越冬卵的诱导是在其母代经历了长日照和高温所致；Sabrosky 等（1933）发现了全光可逆转蝗 *Acrydium arenosum* 的滞育。到 1998 年已有 500 多种昆虫光周期反应的研究报道（Saunder，1981）。昆虫的光周期反应可以分为四类：长日照反应型，短日照反应型，短日照-长日照反应型和中间型日长反应型。在不同光周期下种群进入滞育的比率形成一条

基金项目：国家科技支撑计划（2006BAD08A02）；河北省自然科学基金项目（C2006000751）

作者简介：李文香，女，1977 年 6 月生，博士研究生，主要从事中红侧沟茧蜂滞育生理生化机制研究

* **通讯作者** Authors for correspondence，Tel.：0312-5915676；E-mail：lijianch@heinfo.net

收稿日期 Received：2007-09-21；**接受日期** Accepted：2008-04-30

反应曲线，即光周期反应曲线，利用光周期反应曲线可以确定临界日长或临界暗长（critical day length or critical night length），即诱导昆虫种群 50%个体进入滞育的光周期界限。当日长低于或高于临界光周期时，滞育就被诱导。然而，昆虫的种类不同，其生活史中对光周期感受敏感的时期（阶段）不同（Danilevsky，1961；Tauber *et al*.，1986；Danks，1987；Beck，1989），光周期反应曲线不同，临界日长或暗长不同。明确昆虫的临界光周期和光照反应敏感期对于有效地诱导昆虫滞育、保护利用益虫、防治害虫等具有重要意义。

中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator*（Halidy）属膜翅目，茧蜂科，小蜂茧蜂亚科，侧沟茧蜂属，是一种寄主非常广泛的内寄生蜂，其寄主涉及到鳞翅目夜蛾科和尺蛾科 40 多种昆虫，是田间害虫生物控制的重要因子（王德安等，1984；Li *et al*.，2006）。该蜂一年发生 3～5 代，冬季以滞育茧形式越冬。我们在研究明确其生物学特性的基础上，已经初步明确了温度和光周期是诱导该蜂滞育的主要因子，并能在室内控制条件下繁育滞育蜂茧。为进一步明确中红侧沟茧蜂滞育诱导关键因子及关键期，以提高室内大量繁蜂效率和田间释放效果，我们对中红侧沟茧蜂的光周期反应类型、临界光周期以及对滞育信号感应敏感的虫态进行了研究，结果整理如下。

1 材料与方法

1.1 供试虫源及饲养方法

供试寄主昆虫为粘虫 *Mythimna separata*（Walker），3 龄以下用新鲜玉米叶片饲养，3 龄以上用人工饲料饲养，实验前已在本实验室繁殖饲养 10 代以上，本试验所用粘虫均为玉米叶饲养。中红侧沟茧蜂采自河北省保定地区棉田，将被寄生的棉铃虫采回室内继续用人工饲料饲养，蜂羽化后，每天饲喂 10%的蜂蜜水，然后在河北省植保所昆虫天敌实验室以粘虫为寄主进行扩繁 10 代以上。养虫室条件为 25±1℃，RH 65%±5%，光周期 L∶D＝14∶10。

1.2 临界光周期的测定方法

在 16℃和 18℃条件下，分别设 LL，2L∶22D，4L∶20D，6L∶18D，8L∶16D，10L∶14D，12L∶12D，14L∶10D，16L∶8D，18L∶6D，20L∶4D，22L∶2D 和 DD 13 个不同的光周期处理。挑选 1 龄末～2 龄初的健壮粘虫幼虫，放入接蜂箱（40 cm×30 cm×25 cm）底部的新鲜玉米叶上，用羽化后交配 24 h 的中红侧沟茧蜂雌蜂进行寄生接蜂，将浸有 10%蜂蜜水的脱脂棉球挂在蜂箱的侧面做为成虫的食源。24 h 后除去中红侧沟茧蜂，把粘虫分别转入玻璃瓶内用新鲜玉米苗继续饲养。每瓶 50 头分别置于不同温度条件的光照培养箱中，光照培养箱环境设置温度误差±1℃，光照强度 5 000～6 000 lx，RH 65%±5%。每个处理重复 3 次。观察记载虫体结茧情况。

1.3 敏感虫期的测定方法

依据临界光周期的测定结果，在温度 16℃条件下，当光周期为 14L∶10D 时，中红侧沟茧蜂的滞育率为 0，当光周期为 10L∶14D 时，中红侧沟茧蜂的滞育率接近 100%。因此，我们将滞育条件 16℃，10L∶14 D（短光照 S）和非滞育条件 16℃，14L∶10 D（长光照 L）作为敏感虫期测定的试验条件。试验处理分为 5 组进行（表 1）：第 1 组为 1～G，即短光照（黑色 S）处理时间逐渐增长直至全部短光照处理（1～7）和长光照（白色 L）处理时间逐渐增长直至全部长光照；第 2 组为处理 8～L，即在短光照（S）处理条件下用长光照（L）对每一个发育阶段分别进行打破和在长光照（L）处理条件下用短光照（S）对每一个发育阶段分别进行打破；第 3，4 和 5 组分别为处理 13～P、17～S 和 21～U，即在不同处理条件下分别用 2，3 和 4 个连续短光照（S）或连续长光照（L）进行打破。根据中红侧构茧蜂在实验所设环境条件下的发育进度，以 4 天为单位作为一个发育阶段，按表 1 设计进行不同环境处理条件的转换，最后记录寄生蜂结茧情况，并统计滞育率。

1.4 滞育判断

由于中红侧沟茧蜂滞育茧为褐色，非滞育茧为绿色，所以很容易根据茧的颜色来区分滞育茧和非滞育茧（浑之英等，2005）。

1.5 数据处理方法

滞育率平均值的计算采用 SPSS 软件。

2 结果与分析

2.1 中红侧沟茧蜂滞育的临界光周期

从图 1 的光周期反应曲线可以看出，L＞12 h 诱导 100%的个体发育；高滞育的比率仅出现在短日照 10～12 h 之间；在 10 h 以下的短日照，滞育的比率随日照的缩短而明显下降；在每日 2 h 的日照和全黑暗下，全部个体发育。在生态光周期范围内，该虫显示了典型长日照型种类，临界日长在 16℃时为 12.21 h，在 18℃时为 12.03 h。

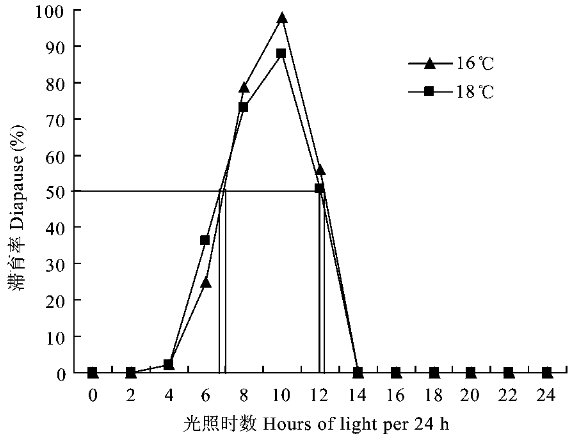

图 1　16℃和 18℃时中红侧沟茧蜂的滞育诱导的临界光周期

Fig. 1　The critical photoperiod of diapause induction in *M. mediator* at 16℃ and 18℃.

2.2　中红测沟茧蜂滞育的敏感虫态

经解剖得知：在 16℃条件下，无论光周期是 10L∶14D 还是 14L∶10D，中红侧沟茧蜂发育均缓慢。卵期及 1 龄幼虫期各 4 天左右；2 龄幼虫在寄主体内的发育时间较长为 16 天左右，为了便于调查中红侧沟茧蜂不同发育阶段对光周期变化的敏感性，我们将 2 龄幼虫期分为Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ 4 个阶段（即幼虫发育 4 天为一阶段）；中红侧沟茧蜂 3 龄幼虫钻出寄主体外结茧化蛹。

研究结果表明（表 1）：在 16℃条件下，用短日照（S）或长日照（L）在中红侧沟茧蜂的不同龄期搜索的试验表明，2 龄第Ⅱ阶段对光周期的反应最为敏感。例如，在第 2 组的处理 10 中，仅在 2 龄第Ⅱ阶段用长光照打破，即导致了 62.5%的个体发育，而在第 2 组的处理 J 中，仅在 2 龄第Ⅱ阶段用短光照打破，即导致了 60.6%的个体滞育。其他龄期对光周期也显示了不同的敏感程度。将中红侧沟茧蜂发育的整个过程均置于长光照下（处理 7），滞育率达 100%；均置于短光照下（处理 G），滞育率为 0。将卵期单独用短光照打破（处理 1），滞育率为 0；反之，单独用长光照打破（处理 A），滞育率为 100%，表明卵期对光周期反应不敏感。在 1～3 龄幼虫感受不同光周期的互换过程中，随着感受短光照（LD10∶14）处理时间的延长，滞育率依次为 21.5%，25.7%，70.7%，85.6%，96.8%，100%，呈逐渐增加的趋势（第 1 组处理 1～7）；反之，滞育率依次为 100%，91.7%，74.0%，16.3%，8.3%，3.0%，则呈逐渐降低的趋势（第 1 组处理 A～F）。表明在幼虫整个发育过程中，每个阶段对光周期变化均有反应，并呈现一个积累的过程。

3　讨论

光周期在昆虫的生活史中发挥着极其重要的作用，如昆虫的发育和繁殖或进入滞育的选择与光周期有直接关系。我们的研究结果表明，中红侧沟茧蜂属于光周期反应四种类型中的长日照反应类型，有两个临界光周期，如 16℃时为 7.03L∶16.97D 和 12.21L∶11.79D；18℃时为 6.75L∶17.25D 和 12.03L∶11.97D。当光照时数小于短的临界光周期或长于长的临界光周期时，中红侧沟茧蜂的滞育率呈降低趋势；当光照时数为 10 h，滞育率最高 16℃为 98% 和 18℃为 87.8%。这种低温和短光照对中红侧沟茧蜂的滞育诱导与华北地区的地理气候一致。浑之英等（2005）报道，深秋季节，当日平均气温达到 17.9℃，光照低于 11 h 45 min 时，中红侧沟茧蜂全部个体进入滞育。由此可见，光周期在调控中红侧沟茧蜂生长发育过程中具有重要影响，这种影响因光照时间的长短而存在重大差异。

在昆虫滞育诱导中，感应光周期的敏感阶段因种类不同而异。以胚胎滞育的昆虫，敏感阶段多在母性阶段，如在家蚕 *Bombyx mori* 研究中发现二化性的卵在高温（25℃）长光照（16 h）条件下催青，使下代蛾产滞育卵，低温短光照下催青就使下代蛾产非滞育卵；以幼虫滞育的昆虫，大多数种类的幼虫期本身对光周期敏感，如亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 以老熟幼虫滞育越冬，其敏感期为 1～3 龄（樊永亮和赵章武，1994）；以蛹滞育的昆虫，感应光周期的敏感阶段多在幼虫期（Tauber *et al*.，1986；Danks，1987；薛芳森等，2002）；以成虫滞育的昆虫，感应光周期的敏感期多出现在成虫阶段，羽化后的初期常是最敏感的（Xue *et al*.，2002）。中红侧沟茧蜂以预蛹进入滞育，研究发现其光周期敏感虫期为在寄主体内发育时间较长的 2 龄幼虫期，其中对诱导刺激反应最强烈的为 2 龄第Ⅱ阶段。Hinton（1957）认为生活史中对昼长或其他环境刺激敏感的时期可能长也可能短，但就规律而言，它在很大程度上限制在一个阶段或一个龄期的特定部分。我们的结果与这个观点一致，中红侧沟茧蜂在 2 龄第Ⅱ阶段，只感受光周期 14L∶10D 时，滞育率 37.5%；只感受 10L∶14D 时，滞育率 60.6%。中红侧沟茧蜂除 2 龄第Ⅱ阶段外，其余阶段也有部分个体进入滞育，表明只有少数个体对短光照反应敏感，其生态学意义和有关机理有待进一步研究。

表 1 16℃条件下中红侧沟茧蜂不同发育阶段感受光周期 10L∶14D 和 14L∶10D 的反应滞育率

Table 1 The diapause rate after receiving photoperiod of 10L∶14D and 14L∶10D at different developmental stages in *M*. *mediator* at 16℃

处理 Treatments	卵期 Egg stage	1 龄 1st instar	2 龄 I 2nd instar I	2 龄 II 2nd instar II	2 龄 III 2nd instar III	2 龄 IV 2nd instar IV	3 龄 3rd instar	滞育率 (%) Diapause (mean ± *SE*)
1	S	L	L	L	L	L	L	0.00 ± 0.00
2	S	S	L	L	L	L	L	21.5 ± 8.6
3	S	S	S	L	L	L	L	25.7 ± 4.6
4	S	S	S	S	L	L	L	70.7 ± 2.6
5	S	S	S	S	S	L	L	85.6 ± 2.9
6	S	S	S	S	S	S	L	96.8 ± 0.8
7	S	S	S	S	S	S	S	100 ± 0.0
A	L	S	S	S	S	S	S	100 ± 0.0
B	L	L	S	S	S	S	S	91.7 ± 2.7
C	L	L	L	S	S	S	S	74.0 ± 1.3
D	L	L	L	L	S	S	S	16.3 ± 0.6
E	L	L	L	L	L	S	S	8.3 ± 0.6
F	L	L	L	L	L	L	S	3.0 ± 0.1
G	L	L	L	L	L	L	L	0.00 ± 0.0
8	S	L	S	S	S	S	S	93.3 ± 1.2
9	S	S	L	S	S	S	S	70.6 ± 1.8
10	S	S	S	L	S	S	S	37.5 ± 0.8
11	S	S	S	S	L	S	S	82.7 ± 3.6
12	S	S	S	S	S	L	S	89.0 ± 2.2
H	L	S	L	L	L	L	L	2.5 ± 0.2
I	L	L	S	L	L	L	L	16.9 ± 0.4
J	L	L	L	S	L	L	L	60.6 ± 1.8
K	L	L	L	L	S	L	L	17.7 ± 2.3
L	L	L	L	L	L	S	L	3.0 ± 0.3
13	S	L	L	S	S	S	S	70.1 ± 2.9
14	S	S	L	L	S	S	S	20.6 ± 3.7
15	S	S	S	L	L	S	S	17.6 ± 0.7
16	S	S	S	S	L	L	S	71.4 ± 1.8
M	L	S	S	L	L	L	L	12.8 ± 0.5
N	L	L	S	S	L	L	L	66.2 ± 1.6
O	L	L	L	S	S	L	L	63.7 ± 1.4
P	L	L	L	L	S	S	L	7.1 ± 0.4
17	S	L	L	L	S	S	S	15.7 ± 0.6
18	S	S	L	L	L	S	S	11.3 ± 0.9
19	S	S	S	L	L	L	S	14.5 ± 0.6
Q	L	S	S	S	L	L	L	58.4 ± 1.1
R	L	L	S	S	S	L	L	78.9 ± 1.8
S	L	L	L	S	S	S	L	65.6 ± 1.5
20	S	L	L	L	L	S	S	9.9 ± 0.7
21	S	S	L	L	L	L	S	18.6 ± 0.8
T	L	S	S	S	S	L	L	86.1 ± 0.6
U	L	L	S	S	S	S	L	90.0 ± 2.4

S：**短光照处理**；L：**长光照处理。每格表示寄生蜂的一个发育阶段为** 4 **天，每行黑白交接处表示长光照处理与短光照处理进行转换。** S：Short day treatment；L：Long day treatment. Every lattice indicated 4-day long developmental stages；black and white alternate indicated the conversion between long day treatment and short day treatment.

参考文献（References）

Beck SD, 1989. Factors influencing the intensity of larval diapause in *Ostrinia nubilalis*. *J. Insect Physiol.*, 35: 75–79.

Danilevsky AS, 1961. Photoperiodism and Seasonal Development of Insects. Leningrad State University Press, Leningrad. 243 pp.

Danks HV, 1987. Insect Dormancy: An Ecological Perspective. Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthorpods), Monograph Series No. 1. 439 pp.

Fan YL, Zhao ZW, 1994. Studies on the sensitive stage of diapause induction in the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée). *Journal of Shanxi University* (*Nat. Sci. Ed.*), 17(2): 222–227. [**樊永亮，赵章武**，1994. **亚洲玉米螟诱发滞育敏感期研究**. **山西大学学报（自然科学版）**, 17 (2): 222–227]

Hinton HE, 1957. Some aspects of diapause. *Sci. Prog. Entomol.*, 178: 307–320.

Hun ZY, Wang DA, Lu ZY, 2005. Diapause induction and cold storage of diapause cocoons in *Microplitis mediator* Haliday. *Acta Entomologica Sinica*, 48(5): 655–659. [**浑之英，王德安，路子云**，2005. **中红侧沟茧蜂滞育诱导及滞育茧的冷藏**. **昆虫学报**, 48 (5): 655–659]

Kogure M, 1933. The influence of light and temperature on certain characters of the silk worm, *Bombyx mori*. *J. Dep. Agric. Kyushu Imp. Univ.*, 4(1): 1–93.

Li JC, Yan FM, Coudron AT, Pan WL, Zhang XF, Liu XX, Zhang QW, 2006. Field release of the parasitoid *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae) for control of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton fields in Northwestern China's Xinjiang province. *Environ. Entomol.*, 35: 694–699.

Sabrosky CW, Larson I, Nabours RK, 1933. Experiments with light upon reproduction growth and diapause in grouse locusts (Acrididae, Tetriginae). *Trans. Kans. Acad. Sci.*, 36: 298–300.

Saunders DS, 1981. Insect photoperiodism: the clock and the counter – a review. *Physiological Entomology*, 6: 99–116.

Tauber MJ, Tauber CA, Masaki S, 1986. Seasonal Adaptations of Insects. Oxford University Press, Oxford. 411 pp.

Wang DA, Nan LZ, Sun X, Li XZ, 1984. Study on a bionomics of *Microplitis* spp., larval parasitic wasp of *Helicoverpa armigera*. *Nat. Enemies Insect*, 6: 211–218. [**王德安，南留柱，孙洗**，1984. **棉铃虫低龄幼虫寄生蜂——侧沟茧蜂生物学研究**. **昆虫天敌**, 6 (4): 211–218]

Xue FS, Hua A, Zhu XF, 2003. Photoperiodic Counter in insects and mites. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 25(6): 884–889. [**薛芳森，华爱，朱杏芬**，2003. **昆虫和螨类光周期计数器**. **江西农业大学学报**, 25 (6): 884–889]

Xue FS, Li AQ, Gui AL, Jiang PL, Liu XF, 2002. Diversity in life history of the leaf beetle *Colaphellus bowringi* Baly. *Acta Entomologica Sinica*, 45: 494–498. [**薛芳森，李爱青，朱杏芬，桂爱礼，蒋佩兰，刘晓芬**，2002. **大猿叶虫生活史研究**. **昆虫学报**, 45: 494–498]

Xue FS, Spieth HR, Li AQ, Hua A, 2002. The role of photoperiod and temperature in determination of summer and winter diapause in the cabbage beetle, *Colaphellus bowringi* (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Insect Physiol.*, 48: 279–286.

（责任编辑：袁德成）